



Réponse du cycle hydrologique aux forçages anthropiques : Que nous disent les dernières simulations du GIEC ?

Hervé Douville, Pascal Terray

► To cite this version:

Hervé Douville, Pascal Terray. Réponse du cycle hydrologique aux forçages anthropiques : Que nous disent les dernières simulations du GIEC ?. Livre blanc du projet Escrime - Étude des simulations climatiques, pp.40-48, 2007, Livre blanc du projet Escrime - Étude des simulations climatiques. hal-01322988

HAL Id: hal-01322988

<https://hal.science/hal-01322988>

Submitted on 29 Jun 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

5 Réponse du cycle hydrologique aux forçages anthropiques : Que nous disent les dernières simulations du GIEC ?

Hervé Douville (1) et Pascal Terray (2)

(1) CNRM/GMGEC/UDC, Météo-France

42 avenue Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 01. Email : hervé.douville@meteo.fr

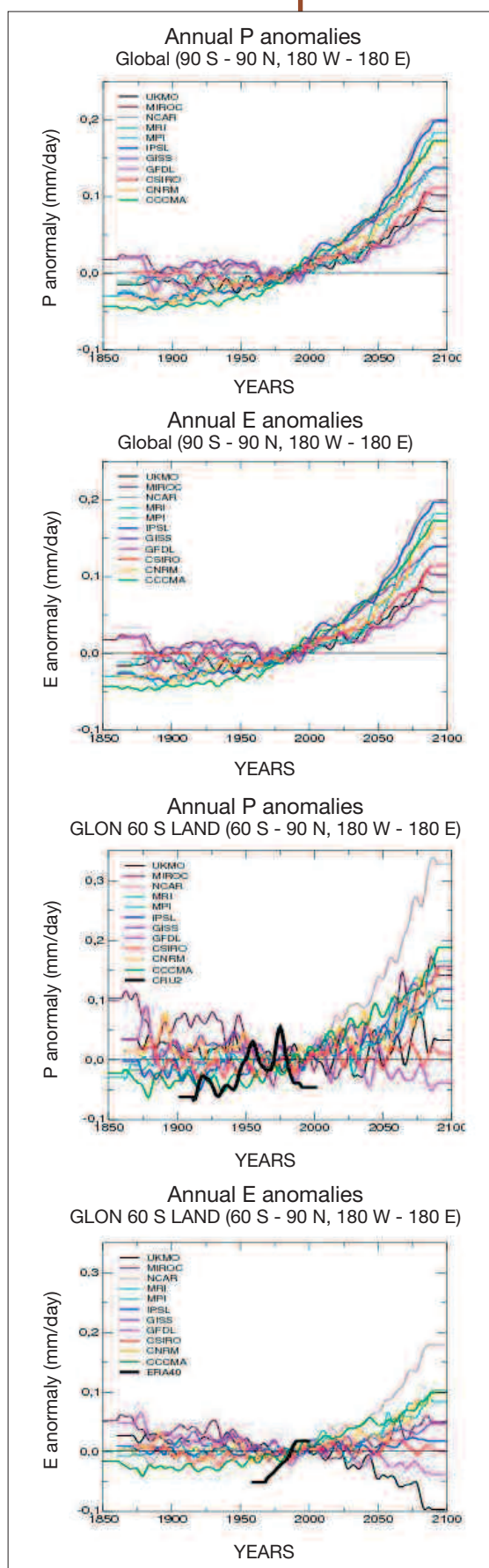
(2) IPSL/LOCEAN, CNRS/IRD/UPMC/MNHN UMR 7617

BP100, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Email : terray@lodyc.jussieu.fr

Introduction

L'objectif de cet article est de dresser un bref inventaire des principaux résultats publiés depuis le 3^{ème} rapport d'évaluation du GIEC et de situer la contribution de la communauté française sur le thème de la réponse du cycle hydrologique aux forçages anthropiques pris en compte dans les scénarios climatiques du 21^{ème} siècle. Cette réponse est pour de nombreuses raisons beaucoup plus difficile à prévoir que celle des températures. Au delà des inconnues liées aux différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, qui jouent principalement sur l'amplitude des anomalies simulées, les projections hydrologiques globales demeurent très variables d'un modèle à l'autre. Il s'agit là d'incertitudes beaucoup plus fondamentales et problématiques que celles associées aux forçages, car la réponse d'un modèle particulier ne peut être déduite des autres modèles. Dans certains cas, c'est le signe même des impacts hydrologiques à grande échelle qui reste incertain. Les incertitudes sont cependant réparties de manière très hétérogène. Elles sont importantes en ce qui concerne les précipitations tropicales, notamment sur l'Afrique de l'Ouest. Elles sont généralement plus faibles aux moyennes et hautes latitudes, en particulier sur l'Europe où la plupart des modèles s'accordent pour prévoir un assèchement estival marqué au Sud et une augmentation des précipitations hivernales au Nord. Globalement, on semble se diriger vers une accentuation des contrastes hydrologiques spatio-temporels qui devrait se traduire par une multiplication et une intensification des inondations et des sécheresses. Cependant, de nombreux points restent encore à éclaircir concernant la nature exacte et la répartition régionale des impacts, montrant la nécessité de mieux contraindre la réponse hydrologique des modèles. Cette tâche prioritaire demeure extrêmement difficile pour deux raisons principales : **(1)** la multiplicité et le caractère parfois grossier des paramétrisations physiques qui contrôlent l'état actuel et la sensibilité du cycle hydrologique. **(2)** le manque de résultats probants concernant la détection des changements hydrologiques du fait de l'insuffisance des observations, des faiblesses des modèles, des incertitudes sur les forçages anthropiques du 20^{ème} siècle et de leurs effets parfois antagonistes sur les précipitations.

Réponse **globale**



L'intensification à long-terme du cycle hydrologique global en réponse à l'accroissement de l'effet de serre ne fait plus guère de doute. Modèles et observations suggèrent en effet que le réchauffement global de la planète se fait à humidité relative quasi-constante, c'est à dire avec une augmentation significative de la vapeur d'eau présente dans la troposphère. Il faut cependant noter que cette intensification s'accompagne dans les modèles d'un ralentissement du cycle de l'eau, déjà constaté dans les précédents scénarios climatiques réalisés au CNRM (Douveille et al., 2002). Il faut aussi remarquer que l'augmentation des précipitations globales n'est pas encore clairement observée, notamment en raison de la couverture très partielle du réseau d'observation conventionnel et d'une diminution des précipitations tropicales continentales pendant la seconde moitié du 20^{ème} siècle. Ceci ne remet pas nécessairement en cause les projections climatiques basées sur les modèles couplés océan-atmosphère. D'une part, la diminution des pluies tropicales continentales est correctement reproduite par certains modèles atmosphériques, qu'ils soient forcés par des températures de surface de la mer (TSM) observées (Kumar et al., 2004) ou couplés à un modèle océanique et forcés par des concentrations observées de gaz à effet de serre (Wang and Lau 2006). D'autre part, la relative convergence des modèles couplés sur l'accroissement des précipitations globales ne se manifeste qu'à la fin du 20^{ème} siècle et disparaît lorsqu'on se limite au domaine continental (**figure 1**). Les principales sources d'incertitude recensées concernent la paramétrisation des effets directs et indirects des aérosols anthropiques (Liepert et al., 2004, Ramanathan et al., 2006), la répartition spatiale des anomalies de TSM sous les tropiques (Douveille 2006a, Barsugli et al., 2006), ainsi que la simulation des téléconnexions entre précipitations et TSM tropicales (Douveille et al., 2006 ; Joly et al., 2006). ►

Figure 1 : Anomalies filtrées (filtre digital passe-bas avec une fréquence de coupure à 10 ans) des précipitations et de l'évaporation annuelles en mm/j relativement à la climatologie 1971-2000 dans les simulations historiques et les scénarios SRES-A2 du GIEC-AR4. En haut : moyennes globales. En bas : moyennes globales continentales (sauf Antarctique). Sont également tracées à titre indicatif l'évolution des précipitations continentales estimées à partir de la climatologie CRU TS2.1 et l'évolution de l'évaporation continentale estimée à partir des réanalyses ERA40 (à considérer avec beaucoup de prudence).

Une autre interrogation majeure concerne la réponse de l'évaporation globale. La plupart des modèles s'accordent sur un renforcement de l'évaporation océanique dès le 20^{ème} siècle, mais cette tendance reste difficile à vérifier dans les observations (Liu and Curry 2006).

La réponse continentale est quant à elle très variable d'un modèle à l'autre, non seulement en raison des incertitudes déjà évoquées sur les précipitations, mais également en raison de l'introduction de nouvelles paramétrisations dans les modèles, tel que l'effet direct du CO₂ atmosphérique sur la transpiration des plantes. Cet effet tendrait à limiter l'évaporation des surfaces recouvertes de végétation et serait important au point d'expliquer en partie l'accroissement du ruissellement continental global observé au cours du 20^{ème} siècle (Gedney et al., 2006). Ce résultat doit cependant être considéré avec beaucoup de prudence tant les observations utilisées sont de qualité insuffisante pour prétendre détecter une éventuelle signature de l'enrichissement atmosphérique en CO₂. Une autre étude, basée sur un ensemble de simulations du GIEC, suggère à l'inverse que l'effet radiatif du CO₂ suffit à expliquer une part significative de l'évolution récente des débits des grands fleuves, sans pour autant démontrer que le forçage anthropique soit ainsi clairement détecté (Milly et al., 2005). Concernant enfin l'humidité des sols, les scénarios obtenus varient largement d'un modèle à l'autre, mais ils soulignent majoritairement la possibilité d'une diminution des ressources en eau pendant la saison de croissance des végétaux dans les principales régions agricoles (Wang 2005).

Devant de tels risques et de telles incertitudes, il est urgent de réfléchir aux moyens de contraindre la réponse hydrologique des modèles couplés dans les scénarios climatiques (Allen and Ingram 2002).

Les simulations paléoclimatiques permettent notamment de tester la sensibilité des modèles à des forçages externes relativement importants. Ces forçages sont malheureusement d'une autre nature que ceux pris en compte dans les scénarios et la validation ne repose alors que sur des observations indirectes et partielles. Les études de détection-attribution représentent une solution potentiellement plus efficace. Néanmoins, le caractère limité des observations disponibles au cours du 20^{ème} siècle et l'importance de la variabilité naturelle des précipitations sont des obstacles majeurs. Une étude récente, basée sur la moyenne globale des précipitations continentales, indique que le signal anthropique n'est détecté que dans la moitié des modèles étudiés (Lambert et al., 2005). La formulation des modèles paraît ainsi plus importante que le raffinement des forçages utilisés pour mettre en évidence une modification du cycle hydrologique.

Au-delà de la comparaison des tendances observées et simulées, la validation de la variabilité interannuelle apparaît comme une alternative intéressante. Douville et al. (2006) montrent par exemple que les relations précipitations-températures globales mises en évidence à l'échelle interannuelle ont un lien apparent avec la sensibilité hydrologique des modèles au renforcement de l'effet de serre. Ils suggèrent ainsi que l'ENOA, qui domine la variabilité naturelle du cycle hydrologique global, pourrait représenter un

substitut intéressant du réchauffement global pour tester les modèles. L'étude semble notamment discréditer le modèle le plus sensible en termes de précipitations continentales. La méthode demeure cependant critiquable dans la mesure où les anomalies interannuelles de TSM liées à l'ENOA sont réparties de façon beaucoup moins uniforme que dans le cas des scénarios du 21^{ème} siècle. Douville et al. (2006) tentent de répondre à cette critique en stratifiant les anomalies interannuelles selon leur ressemblance avec les structures tropicales du réchauffement global en surface. Cette stratégie originale s'avère parfois payante, mais reste inopérante lorsque le changement climatique ne se projette pas sur les modes de variabilité interannuelle des TSM.

Contrastes régionaux et variabilité temporelle

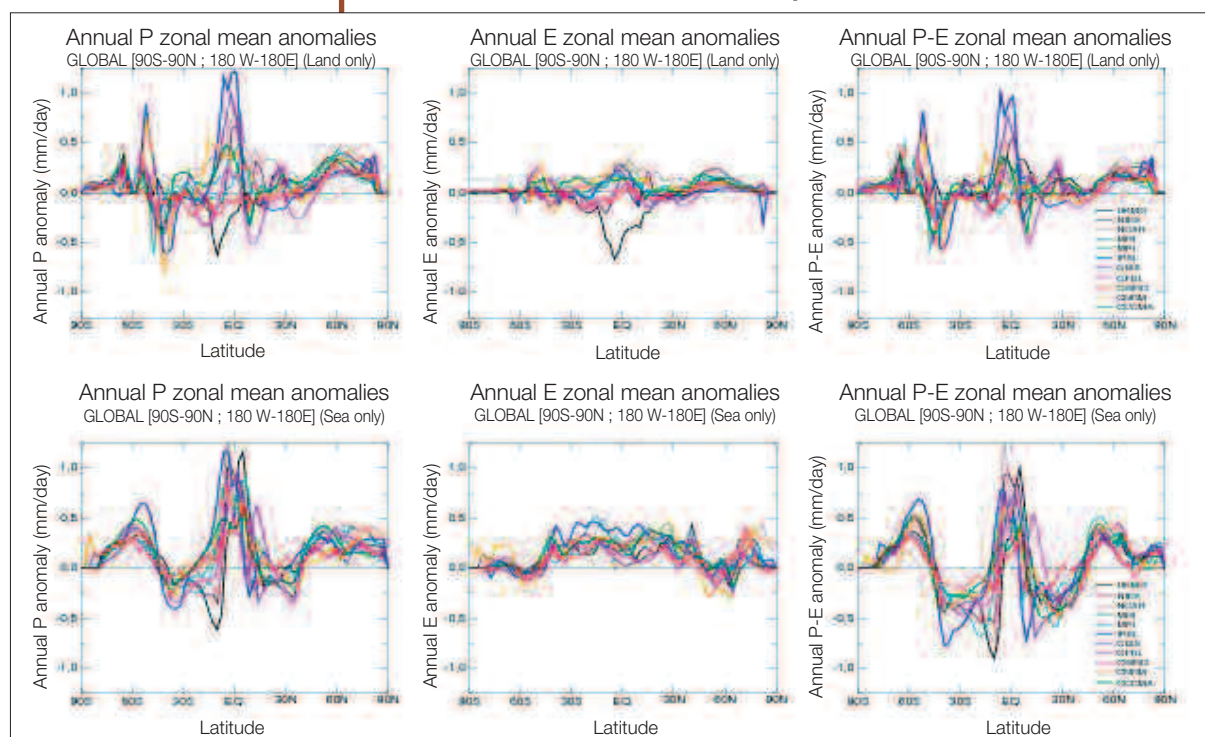


Figure 2 : Moyennes zonales des anomalies annuelles de précipitations (P), d'évaporation (E) et de convergence d'humidité (P-E) sur continent (en haut) et sur océan (en bas) dans les scénarios SRES-A2 du GIEC-AR4 par comparaison entre les climatologies calculées sur les 30 dernières années du 20^{ème} et du 21^{ème} siècles respectivement.

En moyenne zonale (**figure 2**), la réponse des précipitations annuelles dans les scénarios SRES-A2 réalisés en vue du 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC montre un comportement assez cohérent d'un modèle à l'autre (Douville et al., 2006) : accroissement des précipitations aux moyennes et hautes latitudes accompagné d'un déplacement vers les pôles des maxima de précipitations associés aux rails dépressionnaires (Douville et al., 2002), diminution dans les régions subtropicales, augmentation en zone équatoriale par renforcement des précipitations associées à la zone de convergence intertropicale. Sur continent, cette distribution zonale des anomalies doit cependant être nuancée. Elle se superpose à des gradients de plus fine échelle et laisse apparaître des divergences importantes entre les modèles. En zone tropicale, ce n'est pas seulement l'intensité mais aussi le signe des anomalies continentales qui reste incertain. Dans ces régions, une grande partie des pluies annuelles est associée au phénomène de mousson, notamment en Afrique de l'Ouest et au Sud de l'Asie. ►

Bien que les modèles montrent en général un affaiblissement de ces circulations de grande échelle, conformément aux études précédemment réalisées au CNRM (Douville et al., 2000b, Ashrit et al., 2003) et à certains arguments théoriques (Held and Soden 2006), les précipitations de mousson ne diminuent pas nécessairement dans les scénarios climatiques du 21^{ème} siècle. Elles tendent plutôt à augmenter sur le Sud de l'Asie, tandis que la réponse reste très incertaine sur l'Afrique de l'Ouest (Douville et al., 2006).

La difficulté des modèles à reproduire les caractéristiques actuelles des climats de mousson n'est pas la seule explication à la diversité des résultats obtenus.

Parmi les autres sources d'incertitudes, le rôle des aérosols semble particulièrement important (Biasutti and Giannini 2006, Held et al., 2006, Ramanathan et al., 2006), ainsi que la réponse du Pacifique tropical (Douville et al., 2006, Douville 2006a), ou dans une moindre mesure les rétroactions biophysiques potentiellement liées aux surfaces continentales (Douville et al., 2000a).

Aux moyennes et hautes latitudes, la réponse des précipitations est plus consensuelle avec une augmentation en moyenne annuelle (Douville et al., 2006). Les projections sont particulièrement cohérentes sur l'Europe, avec un assèchement marqué sur le sud et une augmentation plus ou moins importante des précipitations annuelles sur le nord, la limite entre les deux régions se situant entre 45 et 50°N. De manière générale, les changements régionaux de précipitations prévus dans les nouveaux scénarios réalisés pour le 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC semblent plus cohérents que dans la génération précédente (Giorgi and Bi 2005). La réponse du bilan d'eau en surface reste cependant très incertaine. Elle dépend non seulement des anomalies de précipitations simulées, mais également de la modélisation du sol et de la végétation. A titre d'exemple, la paramétrisation de la résistance stomatique des plantes influence la réponse de l'évapotranspiration (Gedney et al., 2006), de même que celle du permafrost influence la réponse du ruissellement aux hautes latitudes (Poutou et al., 2004). Par ailleurs, contrairement à ce qu'indiquent certaines simulations, le réchauffement en surface observé aux moyennes latitudes de l'hémisphère Nord ne s'est pour le moment pas encore traduit par un assèchement estival des sols (Robock et al., 2005) ni même par une augmentation de l'évaporation potentielle (Roderick and Farquhar 2002) si l'on se réfère aux quelques observations disponibles. Le retrait progressif de la couverture neigeuse hivernale observé depuis les années 1970 est en revanche reproduit par certains modèles, comme cela avait déjà été mis en évidence dans la précédente génération de scénarios du CNRM (Douville et al., 2002).

Une fois encore, les études de détection-attribution demeurent un outil privilégié pour tester la sensibilité des modèles. Elles demeurent cependant rares à l'échelle régionale en raison d'une diminution fréquente du ratio signal sur bruit par rapport aux études plus globales. Des tentatives sont cependant en cours pour tenter de mettre à jour des réponses hydrologiques significatives sur l'Afrique de l'Ouest, l'Europe ou même la France dans le cadre du projet français DISCENDO (<http://www.cerfacs.fr/globc/Discendo>).

De tels travaux peuvent être complétés par une analyse approfondie de certains scénarios, visant à comprendre les principaux mécanismes qui sous-tendent la réponse hydrologique des modèles à l'échelle régionale (Douville et al., 2002). De ce point de vue, l'étude la plus ambitieuse est probablement celle de Rowell et Jones (2006) visant à discriminer quatre mécanismes susceptibles d'expliquer l'assèchement estival simulé sur l'Europe. En remontant ainsi aux causes des anomalies de précipitations prévues, on peut formuler certaines hypothèses sur leur caractère plus ou moins robuste. La réduction des incertitudes régionales passe également par une approche probabiliste multi-modèle.

Des réflexions sont en cours pour pondérer chaque scénario selon une métrique susceptible de rendre compte de la qualité des modèles. Le débat sur la métrique idéale reste cependant très ouvert (Collins et al., 2005).

Au-delà des hétérogénéités spatiales, la réponse hydrologique des modèles aux forçages anthropiques montre également des signatures temporelles. On note en particulier un renforcement des contrastes saisonniers, notamment aux moyennes latitudes de l'hémisphère nord (Douville et al., 2002, Wang 2005), même si cette tendance est difficile à vérifier dans les observations (Robock et al., 2005). De nombreux modèles s'accordent également pour prévoir une augmentation de la variabilité inter-annuelle des précipitations, notamment dans les régions de mousson, ainsi que des extrema de précipitations mensuelles aux moyennes et hautes latitudes. L'analyse des sorties quotidiennes indique par ailleurs un accroissement probable de l'intensité des pluies, déjà perceptible dans les séries observées du 20^{ème} siècle sur la plupart des continents extratropicaux (Groisman et al., 2005, Klein Tank and Können 2003). De tels changements ne sont guère étonnants dans les régions où les cumuls saisonniers tendent à augmenter, étant donné la nature asymétrique de la distribution des précipitations quotidiennes. Il serait donc intéressant de distinguer ce qui relève réellement d'un accroissement de la variance de ce qui reflète simplement une augmentation de la moyenne. Nous ne prolongerons pas ici la discussion sur les événements climatiques extrêmes car ils font l'objet d'un chapitre spécifique.

Notons toutefois que le renforcement des contrastes spatiaux et saisonniers des précipitations devrait aboutir à un accroissement des risques d'inondations et/ou de sécheresses dans de nombreuses régions du globe. Notons également que les études de détection devraient bénéficier des analyses en cours sur les précipitations quotidiennes, car certains travaux suggèrent que les changements prévus sur les queues de distribution pourraient être plus robustes que les anomalies sur la moyenne des précipitations (Hegerl et al., 2004).

Conclusion

Actuellement, environ un tiers de la population mondiale vit dans des pays considérés comme à risque en ce qui concerne les ressources en eau. En accentuant les contrastes hydrologiques existants, notamment en termes de précipitations, le réchauffement global de la planète pourrait aboutir à une aggravation de la situation.

Le changement climatique n'est cependant qu'une facette du problème et l'évolution de la demande en eau, liée notamment à des contraintes démographiques, représente dans certaines régions un danger beaucoup plus important (De Marsily et al., 2006). Par ailleurs, dans les régions où les précipitations annuelles devraient augmenter, l'accroissement des ressources en eau n'est pas garanti si les pluies se concentrent sur une période relativement courte et si la capacité de stockage (réservoirs) ne permet pas de tirer parti de cet excédent. Une augmentation du nombre et de l'intensité des inondations n'est donc pas à exclure, d'autant plus que le changement climatique devrait dans de nombreuses régions s'accompagner d'un accroissement des risques de fortes pluies.

Les simulations climatiques réalisées en vue de la préparation du 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC représentent un effort sans précédent de la communauté scientifique pour tenter de dégager un consensus sur les conséquences climatiques des forçages anthropiques récents et futurs. Cet objectif n'est cependant atteint que partiellement car la multiplication des modèles, si elle permet de tendre vers une approche probabiliste du changement climatique, n'exclut pas la possibilité de réponses parfois antagonistes sans qu'il soit pour autant aisé de discerner le "vrai" du "faux". Par ailleurs, si les impacts hydrologiques déjà soulignés par le 3^{ème} rapport d'évaluation se confirment (ce qui est en soi un résultat très positif), le 4^{ème} rapport ne devrait pas fournir de nouveautés majeures sur ce thème, en dehors d'une évaluation des changements climatiques déjà engagés ("committed climate change") et d'une analyse beaucoup plus approfondie des impacts sur la variabilité et les extrêmes.

Ainsi, malgré (ou en raison de ?) la sophistication croissante des outils numériques, les impacts hydrologiques du réchauffement global restent parfois très incertains.

Ces incertitudes sont toutefois réparties de manière hétérogène et certaines tendances semblent relativement robustes. Le bassin Méditerranéen apparaît ainsi comme une zone particulièrement sensible, où le stress hydrique devrait largement augmenter. Progresser dans la localisation et la quantification des risques hydrologiques demandera encore beaucoup d'efforts. Il s'agit d'une part de préciser la réponse climatique de grande échelle en terme de moyenne et de variabilité, d'autre part de développer des méthodes efficaces de régionalisation des scénarios climatiques, permettant d'évaluer les impacts à une échelle pertinente (cf. chapitre consacré à ce thème). Au-delà des travaux de modélisation, le

développement de nouveaux instruments de télédétection permettant un suivi global et régulier de certaines variables hydrologiques est une priorité pour appréhender l'évolution du cycle de l'eau dans sa globalité et contraindre les modèles utilisés pour produire les scénarios climatiques.

Notons enfin que la réponse du cycle hydrologique est au cœur des multiples questions que soulèvent les perturbations anthropiques du système climatique. Elle présente ainsi des liens étroits avec les autres chapitres de ce rapport. Les rétroactions liées à la branche atmosphérique du cycle hydrologique, et plus particulièrement les nuages, modulent ainsi fortement le réchauffement global simulé par les modèles (Bony and Dufresne 2005). Les principaux modes de variabilité atmosphérique (ENOA, ONA) ont une influence majeure sur les précipitations observées au cours du 20^{ème} siècle dans de nombreuses régions. La réponse de ces modes au réchauffement global est donc déterminante pour comprendre et prévoir celle du cycle hydrologique (Camberlin et al., 2004, Terray et al., 2004, Douville et al., 2006). Par ailleurs, le couplage entre cycle de l'eau et du carbone semble également devoir être un enjeu majeur, que ce soit pour prévoir la variabilité des émissions de CO₂ (Ciais et al., 2005) ou celle du bilan hydrique continental (Gedney et al., 2006). Enfin, en matière de détection-attribution, la forte variabilité naturelle des précipitations et leur réponse incertaine dans les scénarios climatiques représentent un obstacle important pour identifier à l'échelle régionale la signature des forçages anthropiques sur les températures de surface. Ce problème peut toutefois être en partie résolu en utilisant le lien qui existe entre température et précipitations à l'échelle interannuelle pour "corriger" les tendances de température (Douville 2006b). ■

Références

- **Allen M.R. and W.J. Ingram, 2002** : Constraints on future changes in the hydrological cycle. *Nature*, 419, 224-228.
- **Ashrit R.G., H. Douville, K. Rupa Kumar, 2003** : Response of the Indian Monsoon and ENSO-monsoon teleconnection to Enhanced Greenhouse Effect in the CNRM Coupled Model. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 81, 779-803.
- **Barsugli J.J., S.-I. Shin, P.D. Sardeshmukh, 2006** : Sensitivity of global warming to the pattern of tropical ocean warming. *Clim. Dyn.*, 27, 483-492.
- **Biasutti M. and A. Giannini, 2006** : Robust Sahel drying in response to late 20th century forcings. *Geophys. Res. Letters*, 33, L11706, DOI :10.1029/2006GL026067.
- **Bony S. and J.-L. Dufresne, 2005** : Marine boundary layer clouds at the heart of tropical cloud feedback uncertainties in climate models. *Geophys. Res. Letters*, 32, L20806, DOI : 10.1029/2005GL023851.
- **Camberlin P., F. Chauvin, H. Douville, Y. Zhao, 2004** : Simulated ENSO-tropical rainfall teleconnections and their changes under enhanced greenhouse gases conditions. *Clim. Dyn.*, 23, 641-657.
- **Ciais P. and co-authors, 2005** : Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437, 529-533.
- **Collins M. and the CMIP Modelling Groups, 2005** : El Niño- or La Nina-like climate change? *Clim. Dyn.*, 24, 89-104.
- **De Marsily G. et al., 2006** : "Les Eaux Continentales". Rapport sur la Science et la Technologie, Académie des Sciences, Editions Tech. & Doc.
- **Douville H., Planton S., Royer J.-F., Stephenson D.B., Tyteca S., Kergoat L., Lafont S., Betts R.A., 2000 a** : Importance of vegetation feedbacks in doubled-CO₂ time-slice experiments. *J. Geophys. Res.*, 105:14841-14861.
- **Douville H., J.-F. Royer, D.B. Stephenson, S. Tyteca, J. Polcher, P. Cox, N. Gedney, P. Valdes, 2000b** : Impact of CO₂ doubling on the Asian summer monsoon : robust versus model-dependent responses. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 78, 421-439.

Références

- **Douville H., F. Chauvin, S. Planton, J-F. Royer, D. Salas-Mélia, S. Tyteca, 2002 :**
Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols. *Clim. Dyn.*, 20, 45-68, DOI :10.1007/s00382-002-0259-3.
- **Douville H., 2006 a :** Impact of regional SST anomalies on the Indian monsoon response to global warming in the CNRM climate model. *J. Clim.*, 19, 2008-2024.
- **Douville H., 2006b :** Detection-attribution of global warming at the regional scale: How to deal with precipitation variability? *Geophys. Res. Letters*, 33, L02701, DOI :10.1029/2005GL024967.
- **Douville H., D. Salas-Mélia, S. Tyteca, 2006 :** On the tropical origin of uncertainties in the global land precipitation response to global warming. *Clim. Dyn.*, 26, 367-385, DOI:10.1007/s00382-005-0088-2.
- **Gedney N., P.M. Cox, R.A. Betts, O. Boucher, C. Huntingford, P.A. Stott, 2006 :**
Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature*, 439, 835-838, DOI :10.1038/nature04504.
- **Giorgi F. and X. Bi, 2005 :** Updated regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations. *Geophys. Res. Letters*, 32, L21715, DOI :10.1029/2005GL024288.
- **Groisman P.Y., R.W. Knight, D.R. Easterling, T.R. Karl, G.C. Hegerl, V.N. Razuvayev, 2005 :**
Trends in intense precipitation in the climate record. *J. Clim.*, 18, 1326-1350.
- **Hegerl G.C., Zwiers F.W., Stott P.A., Kharin V.V., 2004 :** Detectability of anthropogenic changes in annual temperature and precipitation extremes. *J. Clim.*, 17, 3683-3700.
- **Held I. and B.J. Soden, 2006 :** Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *J. Clim.* (in press).
- **Held I., T.L. Delworth, J. Lu, K.L. Findell, T.R. Knutson, 2006 :**
Simulation of Sahel drought in the 20th and 21st centuries. *PNAS*, 102, 17891-17896.
- **Joly M., A. Voldoire, H. Douville, P. Terray, J-F. Royer, 2006 :** African monsoon teleconnections with tropical SSTs in a set of IPCC-AR4 coupled models. *Clim. Dyn.* (revised).
- **Klein Tank A.M.G. and G.P. Können, 2003 :**
Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *J. Clim.*, 16, 3665-3680.
- **Kumar A., F. Yang, L. Goddard, S. Schubert, 2004 :** Differing trends in the tropical surface temperatures and precipitation over land and oceans. *J. Clim.*, 17, 653-664.
- **Lambert F.H., N.P. Gillett, D.A. Stone, C. Huntingford, 2005 :** Attribution studies of observed land precipitation changes with nine coupled models. *Geophys. Res. Letters*, 32, L18704, DOI :10.1029/2005GL023654.
- **Liepert B.G., J. Feichter, U. Lohmann, E. Roeckner, 2004 :** Can aerosols spin down the water cycle in a warmer and moister world? *Geophys. Res. Letters*, 31, L06207, DOI : 10.1029/2003GL019060.
- **Liu J. and J.A. Curry, 2006 :** Variability of the tropical and subtropical ocean surface latent heat flux during 1989-2000. *Geophys. Res. Letters*, 33, L05706, DOI :10.1029/2005GL024809.
- **Milly P.C.D., K.A. Dunne, A.V. Vecchia, 2006 :** Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438, 347-350, DOI:10.1038/nature04312.
- **Poutou E., G. Krinner, C. Genthon, N. De Noblet, 2004 :**
Role of soil freezing in future boreal climate change. *Clim. Dyn.*, 23, 621-639.
- **Ramanathan V., C. Chung, D. Kim, T. Bettge, J.T. Kiehl, W.M. Washington, Q. Fu, D.R. Sikka, M. Wild, 2006 :**
Atmospheric brown clouds : Impacts on South Asian climate and hydrological cycle. *PNAS*, 102, 5326-53333.
- **Robock A., M. Mu, K. Vinnikov, I.V. Trofimova, T.I. Adamenko, 2005 :**
Forty-five years of observed soil moisture in the Ukraine: No summer dessication (yet). *Geophys. Res. Letters*, 32, L03401, DOI : 10.1029/2004GL021914.
- **Roderick M.L. and G.D. Farquhar, 2002 :**
The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years. *Science*, 298, 1410-1411.
- **Rowell D.P. and R.G. Jones, 2006 :** Causes and uncertainty of future summer drying over Europe. *Clim. Dyn.*, 27, 281-299, DOI:10.1007/s00382-006-0125-9.
- **Terray L., M.E. Demory, M. Déqué, G. de Coetlogon, E. Maisonave, 2004 :**
Simulation of the late twenty-first century changes in wintertime atmospheric circulation over Europe due to anthropogenic causes. *J. Clim.*, 17, 4630-4635.
- **Wang G., 2005 :** Agricultural drought in a future climate : results from 15 global climate models participating in the IPCC 4th Assessment. *Clim. Dyn.*, 25, 739-753, DOI :10.1007/s00382-005-0057-9.
- **Wang H. and K.M. Lau, 2006 :** Atmospheric hydrological cycle in the tropics in twentieth century coupled climate simulations. *Int. J. Climatol.*, DOI : 10.1002/joc.1279.